

İTÜ

Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi

SIKIŞTIRILABİLİR AERODİNAMİK DERSİ ÖDEV RAPORU

*2,4 Mach Çıkışlı
Roket Lülesi Tasarımı
Ve Akımın incelenmesi*

Öğretim Üyesi : Prof. Dr. Adil YÜKSELEN

Tevfik Uyar

Kısaltmalar:

1 No'lu Yazılım*	: Roket lülesi dizaynı için bilgisayar programı
2 No'lu Yazılım*	: Alan oranı - Mach sayısı bağıntısı için bilgisayar programı
3 No'lu Yazılım*	: Normal şok denklemlerinin çözümü için bilgisayar programı
4 No'lu Yazılım*	: İzantropik akım özelliklerinin hesabı için bilgisayar programı
5 No'lu Yazılım*	: Eğik şok denkleminin çözümü için bilgisayar programı
6 No'lu Yazılım	: Prandtl_Meyer genişleme dalgalarının hesabı için bilgisayar programı
P_g	: Giriş Basıncı
P_ç	: Çıkış Basıncı
P₀	: Durma Basıncı

Giriş

Ödev temel amacı genişlemeli çıkış lülesi tasarlamak olduğundan akımın yakınsak lülenin boğum bölgesinde 1 Mach hıza ulaştığı kabulü yapılmıştır. Bu kabul gereğince genişleyen bir lüle içerisinde hareket eden süpersonik hale gelmiş akım giderek hızlanacak ve çıkış kesitinde amaçlanan hız olan 2,4 Mach hıza ulaşacaktır.

Lakin giriş ve çıkış basınçlarının birbirlerine oranları, akımda şok ve genişleme dalgalarına rastlanmasına vesile olacağından lülenin bu yönde değerlendirilmesi de beklenen ve istenen bir çalışmadır.

Ödev; 2,4 Mach hızında çıkış hızı sağlayacak bir lülenin geometrisinin belirlenmesi ve giriş/çıkış basınçlarının muhtelif oranlarında ortaya çıkacak halleri değerlendirmektedir.

1. Lüle Geometrisi

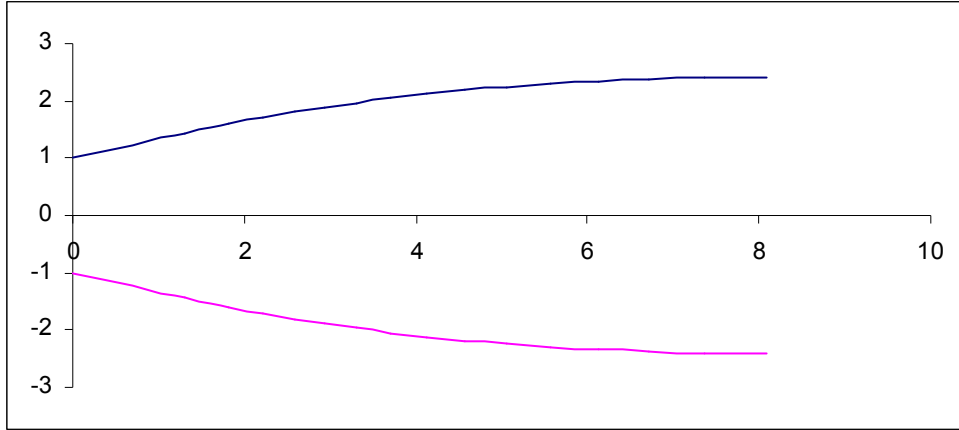
Keyfi olarak nokta sayısı seçilmiş ve 15 olarak belirlenmiştir. 1 No'lu yazılıma nokta sayısı 15 ve çıkış Mach sayısı 2,4 girilmiş ve çıktı olarak şu koordinatlar elde edilmiştir.

Nokta	Apsis(x)	Ordinat(y)
1	0	1
2	1,297	1,426
3	1,829	1,592
4	2,218	1,705
5	2,582	1,801
6	2,946	1,888
7	3,321	1,969
8	3,714	2,045
9	4,131	2,116
10	4,575	2,181
11	5,052	2,24
12	5,565	2,292
13	6,119	2,336
14	6,719	2,369
15	7,37	2,391
16	8,078	2,399

Tablo 1: Koordinatlar

* http://atlas.cc.itu.edu.tr/~yükselen/UZB362/UZB362_Index.htm adresinde bulunmaktadır

Başlangıç noktasının (0,1) olarak kabul edildiği varsayımı ile, simetrik olduğu düşünülerek hesaplanan lüenin Excel ile resmedilmiş temsili şekli ise şöyledir:



2. Şoklar Açısından Lüle

Boğum noktasında subsonik hale gelen bir akımda şok oluşması kuvvetle muhtemeldir. Nitekim Çıkış ve Giriş basınçları oranı ($P_g/P_ç$) bu şokun konumunun ve tipinin belirleyicisi olup bize bu konuda fikir vermektedir. $P_g/P_ç$, akımın sesüstü akım haline geldiği konumdan hemen ileride bir normal şok oluşumuna sebebiyet verir. Yalnız bu oranın düşürülmesi önce şokun konumu sonra da tipini değiştirici rol oynayacaktır. İlk önceleri oluşan normal şok oranın düşmesiyle boğumdan uzaklaşırken, normal şok çıkış kesitine geldikten sonra artık şok tipinde değişikliğe neden olacak ve şoku eğik şok haline getirecektir. Bu andan itibaren oran düşürülmeye devam ederse artık genişleme dalgalarıyla karşılaşılacaktır.

Şoklar açısından lüenin inceleneceği bu ikinci kısım bu üç durumu da değerlendirmektedir. Bu değerlendirmede akımın sanki bir boyutlu olduğu kabulü yapılarak üç boyutluluk etkileri ihmal edilmiştir.

2.1 Normal Şok Hali

Şokun o kesitte oluştuğu varsayımıyla hesap yapılan her bir kesit için:

- 2 No'lu yazılım kullanılarak oluşacak şoktan önceki mach sayısı hesaplandı.
- 3 No'lu yazılım kullanılarak şoku geçen akımın mach sayısı ve şok sonrası – şok öncesi durma basınçları oranı P_02/P_01 hesaplandı.
- 2 No'lu yazılım kullanılarak çıkış mach sayısı bulundu
- 4 No'lu yazılım kullanılarak çıkış durma basıncının çıkış basıncına oranı P_02/P_2 bulundu
- b ve d adımlarında bulunan oranlar birbirlerine bölünerek P_2/P_01 oranı bulundu.

Bu hesaplarla birlikte normal şokun oluştuğu 15 hal şok çıkış kesitinde oluşana kadar incelenmiş bulunuldu. Aşağıdaki tablo yukarıdaki adımlarla hesaplanmış sayısal sonuçları içermektedir:

Nokta	Şok öncesi M	Şok sonrası M	Po2/Po1	Çıkış M	Po2/P2	P2/Po1
2	1,7879	0,61923	0,81804	0,3125	1,07	0,764523
3	1,929	0,59007	0,75395	0,3431	1,0849	0,694949
4	2,0123	0,57526	0,71513	0,365	1,0964	0,652253
5	2,077	0,5648	0,68491	0,3844	1,1073	0,618541
6	2,1316	0,5566	0,65955	0,4025	1,1181	0,589885
7	2,1795	0,54983	0,6375	0,4199	1,129	0,564659
8	2,2222	0,54412	0,61806	0,4367	1,14	0,542158
9	2,2603	0,53926	0,60092	0,4529	1,1511	0,52204
10	2,2938	0,53515	0,58603	0,4682	1,162	0,504329
11	2,3233	0,53167	0,57308	0,4825	1,1727	0,488684
12	2,3484	0,52879	0,56218	0,4955	1,1827	0,475336
13	2,3692	0,52646	0,55323	0,5067	1,1916	0,464275
14	2,3845	0,52479	0,54671	0,5154	1,1986	0,456124
15	2,3945	0,52371	0,54247	0,5212	1,2034	0,450781
16	2,3981	0,52332	0,54095	0,5234	1,2052	0,448847

Tablo 2: Normal Şok için hesap sonuçları

2.2 Eğik Şok Oluşumu

5 No'lu yazılım kullanılarak $M=2,4$ ve $\theta=0$ girdileri ile asgari β değeri 24,62 olarak bulunmuştur. 15 değerler yeterli olacağı düşünülerek ikinci adım 25 derece olarak belirlenmiş, eğik şok durumu mach dalgalarının oluştuğu ve akımın sapma göstermediği 90 dereceye kadar P_2/P_1 oranı hesap edilmiştir. Daha sonra No'lu yazılım kullanılarak bu 15 noktada hesap için sabit kalacak olan P_{01}/P_1 oranı 14,62 olarak hesaplanmıştır. Kısım 2.1'de olduğu gibi basınç oranları yardımı ile P_2/P_{01} oranı elde edildi. Bu hesap sonucu elde edilen tablo aşağıdaki gibidir:

Beta	p2/p1	P01/p1	Pe/P0
24,62	1	14,62	0,068399453
25	1,0335	14,62	0,070690834
30	1,5133	14,62	0,103508892
35	2,0441	14,62	0,139815321
40	2,6098	14,62	0,178508892
45	3,1933	14,62	0,218419973
50	3,7767	14,62	0,258324213
55	4,3425	14,62	0,297024624
60	4,8733	14,62	0,333331053
65	5,353	14,62	0,366142271
70	5,7672	14,62	0,394473324
75	6,1031	14,62	0,4174487
80	6,3507	14,62	0,434384405
85	6,5022	14,62	0,444746922
90	6,5533	14,62	0,448242134

Tablo 3: Eğik Şok için hesap sonuçları

3. Genişleme Dalgaları

Bu kısımda evvela 6 No'lu program yardımıyla 2,4 çıkış Mach sayısı için 0 ila 45 derece arasındaki genişleme açıları için 5'er derecelik adımlarla P_2/P_1 oranları hesaplandı. P_{01}/P_1 oranı eğik şok hesabında da olduğu gibi her bir hesapta 14,62 olarak kullanıldı. Yine aynı şekilde bu oranların birbirine bölümü ile P_2/P_{01} oranları elde edildi. Aşağıdaki tabloda tetaya bağlı oranlar ifade edilmiştir:

Teta	P2/p1	P01/p1	Pe/P0
0	1	14,62	0,068399
5	0,716	14,62	0,048974
10	0,5	14,62	0,0342
15	0,34	14,62	0,023256
20	0,224	14,62	0,015321
25	0,143	14,62	0,009781
30	0,087	14,62	0,005951
35	0,051	14,62	0,003488
40	0,028	14,62	0,001915
45	0,015	14,62	0,001026

Tablo 4: Genişleme Dalgaları için hesap sonuçları

Sonuç:

Hesaplar, beklendiği gibi P_c/P_g basınç oranı azaldıkça önce normal şok, daha sonra eğik şok ve sonrasında da genişleme dalgalarının oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca Tablo 3'te görülen $\text{Beta}=90$ için elde edilen basınç oranının, çıkış kesitindeki basınç oranına, Tablo 4'te görülen $\text{teta}=0$ için hesaplanmış basınç oranının Beta sınır değeri için elde edilen basınç oranına çok küçük bir hata oranıyla yaklaşık çıkması, hesabın doğruluğunu kanıtlar niteliktedir. Şok tiplerinin ve açılarının basınç oranına oranla değişiminin kronolojisi yine aynı eşitliklerden faydalanılarak anlaşılmaktadır.